

УДК 629.039.58

**РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ****В.А. Гладкий, Д.В. Решетников, И.С. Щербина (Санкт-Петербург)****Введение**

В настоящее время в разных сферах деятельности при принятии управленческих решений все шире применяется риск-ориентированный подход. Внедрение риск-ориентированного подхода способствует системному учету вероятности и последствий реализации различных сценариев, улучшает качество принятия решений и повышает устойчивость к неблагоприятным ситуациям. В послании Федеральному собранию 29 февраля 2024 г. президент России В.В. Путин отметил необходимость использования риск-ориентированного подхода и всестороннего учета рисков во всех сферах деятельности государства [1].

Современная наземная космическая инфраструктура представляет собой сложную сеть объектов: технические и стартовые комплексы, командно-измерительные комплексы; наземные радиолокационные станции, центры управления полётами космических объектов; пункты приёма, хранения и обработки информации; базы хранения космической техники; районы падения отделяющихся частей космических объектов; производственные и ремонтные цехи, эксплуатационные хозяйственные сооружения. Обеспечение безопасности таких объектов требует системного подхода, в котором риск-ориентированность становится центром управленческих решений.

Риск-ориентированный подход в обеспечении безопасности объектов наземной космической инфраструктуры (ОНКИ) – это подход, при котором безопасность формируется и поддерживается на основе управления рисками [2]. Под управлением рисками на ОНКИ следует понимать систематический процесс выявления, анализа и оценки потенциальных рисков, которые могут повлиять на безопасность, здоровье и работоспособность эксплуатирующего персонала при работе на ОНКИ, и разработку мер для их минимизации.

ОНКИ характеризуются:

- высокой концентрацией дорогостоящего, часто уникального технологического оборудования;
- сложностью технологических и энергетических коммуникаций;
- значительной мощностью энергосистем;
- территориальным распределением объектов;
- нахождением на ОНКИ высококвалифицированного персонала, подготовка которого занимает продолжительное время;
- наличием специфических опасностей, связанных с эксплуатацией технологического оборудования (взрывоопасность; опасность от механических воздействий; пожарная опасность; электрическая опасность; термическая опасность; опасность от источников СВЧ-излучений и другие);
- хранением и использованием значительных масс горючих веществ, в том числе высокотоксичных, агрессивных и взрывопожароопасных компонентов ракетного топлива (КРТ).

Применяемые КРТ при стечении определённых обстоятельств способны воспламеняться и взрываться. Так, в соответствии с [3] к опасным свойствам пары несимметричный диметилгидразин и азотный тетраоксид относятся: самовоспламеняемость при контакте, а также взрыв при определённом стечении обстоятельств,

Под взрывом понимается неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим изменением состояния вещества, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям, обусловленным резким динамическим повышением давления и возникновением воздушной ударной волны, оказывающей смертельное воздействие на человека [4].

Исходя из этого, наиболее опасным фактором для эксплуатирующего персонала является взрыв парогазовой смеси. Несмотря на весь комплекс применяемых схемно-конструктивных и организационно-технических решений по обеспечению безопасности агрегатов и систем ОНКИ, полностью исключить развитие негативных сценариев не представляется возможным. С целью минимизации развития аварийных ситуаций руководитель работ должен руководствоваться прогнозной оценкой возможных последствий развития таких ситуаций. Таким инструментом может стать изложенная ниже методика.

Основные этапы методики риск-ориентированного управления безопасностью эксплуатирующего персонала на объектах наземной космической инфраструктуры

Разработанная методика включает в себя выполнение трёх этапов.

I. Конкретизация технологического графика подготовки систем и агрегатов ОНКИ с выявлением возможных аварийных ситуаций, возникающих в процессе работ.

II. Разработка модели возникновения и развития аварийной ситуации, связанной с работой с КРТ на ОНКИ.

III. Обоснование решения руководителя работ по минимизации последствий аварийной ситуации.

На первом этапе методики для представления технологических графиков подготовки целесообразно использование сетевых моделей PERT, GERT, Петри, СРМ, которые позволяют наглядно отображать структуру технологического графика работ и рассчитать количество эксплуатирующего персонала и время его нахождения в потенциально опасной зоне.

На втором этапе выполняются следующие мероприятия:

1. Определение возможных причин возникновения инцидентов и их последствий (разрушение сооружений и (или) технических устройств на ОНКИ, взрывы и (или) выбросы опасных веществ).

По результатам анализа технологического графика подготовки технологического оборудования стартовых комплексов можно выделить следующие события, которые приводят к возникновению аварийных ситуаций (рис. 1):

- отказы наземного технологического оборудования и бортовой аппаратуры изделий в процессе проведения работ;
- несанкционированные механические воздействия на конструкцию изделия при выполнении транспортировочных, погрузочно-разгрузочных, стыковочно-монтажных работ;
- возникновение нештатных (аварийных) ситуаций, связанных с повреждениями конструкций изделия и оборудования при выполнении работ по заправке (сливу) жидкостей, электрических проверках, заряде (разряде) аккумуляторных батарей, проверке пиростердов [5].

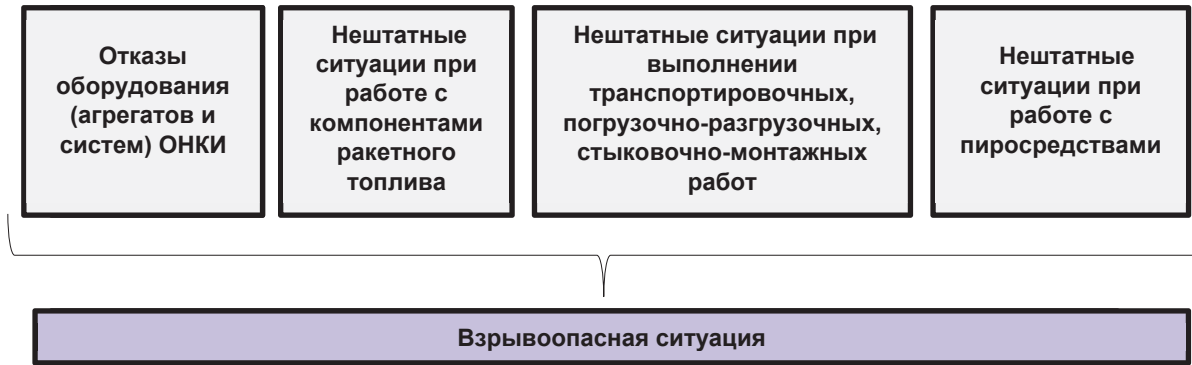


Рис. 1. Опасности возникновения взрывоопасной ситуации при работе с компонентами ракетных топлив на объектах наземной космической инфраструктуры

2. Построение сценариев взрыва КРТ на ОНКИ.

В результате анализа функционирования агрегатов и систем ОНКИ в условиях возникновения аварийных ситуаций строятся сценарии взрыва (пролива) КРТ внутри помещений ОНКИ и на открытой площадке (рис.2,3):



Рис. 2. Сценарий, приводящий к взрыву внутри помещений ОНКИ

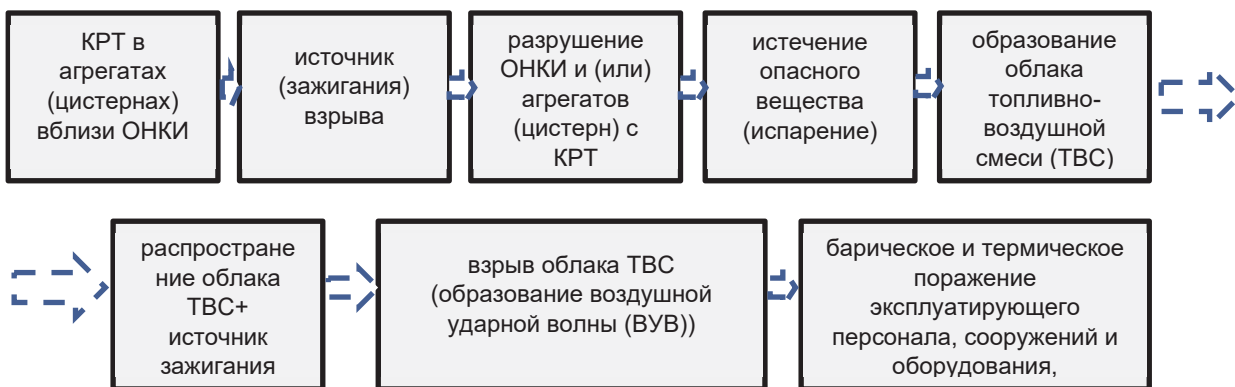


Рис. 3. Сценарий, приводящий к взрыву на открытой площадке

Проведенный анализ взрывов КРТ на ОНКИ позволяет сделать вывод о том, что в качестве обобщённого сценария следует принять взрыв, приводящий к разрушению ОНКИ, поражению эксплуатирующего персонала, загрязнению окружающей среды (рис. 4).



Рис. 4. Обобщённый сценарий взрыва компонентов ракетного топлива на объекте наземной космической инфраструктуры

Стоит отметить, что основными поражающими факторами в случае возникновения взрыва КРТ на ОНКИ являются [5]:

- воздушная ударная волна (ВУВ);
- тепловое излучение от «огневого шара»;
- токсичные продукты горения;
- разлетающиеся на больших скоростях (до нескольких км/с) элементы конструкции ОНКИ.

Наибольшим поражающим воздействием с учётом специфики расположения систем и агрегатов ОНКИ обладает ВУВ.

Для получения оценки показателей риска гибели эксплуатирующего персонала на опасных производственных объектах может быть использован научно-методический аппарата, представленный в [4, 6, 7]. После необходимой адаптации данный подход может быть применен для оценивания индивидуального риска гибели эксплуатирующего персонала в результате взрыва КРТ при работах на заправочном оборудовании. Содержание адаптированного научно-методического аппарата представлено ниже.

3. Расчёты показателей риска гибели эксплуатирующего персонала.

Для расчёта индивидуального риска $R_{\text{инд}}$ – ожидаемой частоты поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов взрыва – предлагается использовать формулу [6]:

$$R_{\text{инд}} = \frac{1}{1 + 4092 \cdot e^{-1.663Pr}}, \quad (1)$$

где: Pr – величина пробит-функции, характеризующая вероятность возникновения последствий для человека в результате воздействия ВУВ.

Для расчёта величины пробит-функции (вероятности поражения ВУВ эксплуатирующего персонала в зависимости от расстояния до центра взрыва облака воздушной смеси) воздействия на человека предлагается использовать формулу [6]:

$$Pr = 5 - 5,74 \times \ln(V_1), \quad (2)$$

где 5 и 5,74 – константы, зависящие от вида параметров негативного воздействия (для воздействия ВУВ принимаются равными 5 и 5,74);

V_1 – доза негативного воздействия (зависит от избыточного давления падающей ударной волны и импульса волны давления), рассчитывается по формуле [4]:

$$V_1 = \frac{4,2}{\frac{\Delta P}{P_0}} + \frac{1,3}{\frac{I}{P_0^3} \times m^{\frac{1}{3}}} \quad (3)$$

где ΔP – избыточное давление падающей волны, Па (рассчитывается согласно [6];

P_0 – атмосферное давление, Па;

I – импульс волны давления, Па×с (рассчитывается согласно [6]);

m – масса тела живого организма, кг (принимается равной 75 кг).

В результате расчетов получим следующую оценку величины индивидуального риска: $R_{инд} = 0,99$.

Для расчёта коллективного риска $R_{колл}$ – ожидаемого количества пораженных в результате возможного взрыва КРТ в определенный момент времени – предлагается использовать формулу [7]:

$$R_{колл} = \sum_{i=1}^j R_{инд}^i \times n_{л/с}^i \quad (4)$$

где $R_{инд}^i$ – индивидуальный риск гибели человека в i -м сценарии взрыва;

$n_{л/с}^i$ – среднее количество пострадавших/погибших группы лиц в i -м сценарии взрыва.

Стоит отметить, что предложенный математический аппарат позволяет провести приближенную оценку параметров взрывной ударной волны и определить вероятные показатели риска гибели эксплуатирующего персонала при взрывах КРТ на ОНКИ. Добиться автоматизации удаётся при использовании программного комплекса (ПК) «ТОХИ+Risk».

4. Построение модели взрыва КРТ на ОНКИ.

ПК «ТОХИ+Risk» – отечественный ПК, разработанный ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» в соответствии с действующими методиками [4, 6]. Данный ПК позволяет расширить границы данных методик за счёт возможности расчёта размеров зон действия поражающих факторов взрыва КРТ (смертельных, безопасных), а также совмещения картограммы распределения эксплуатирующего персонала по объекту и определения количества пострадавших.

В результате ввода необходимых исходных данных (по параметрам КРТ и количеству эксплуатирующего персонала) в ПК «ТОХИ+Risk», а также расположения, характеристик оборудования и объектов, подверженных риску, с привязкой к карте, вспомогательных данных (метеоданных, топографических данных) получаем график зависимостей вероятности поражения эксплуатирующего персонала от расстояния (рис.5).

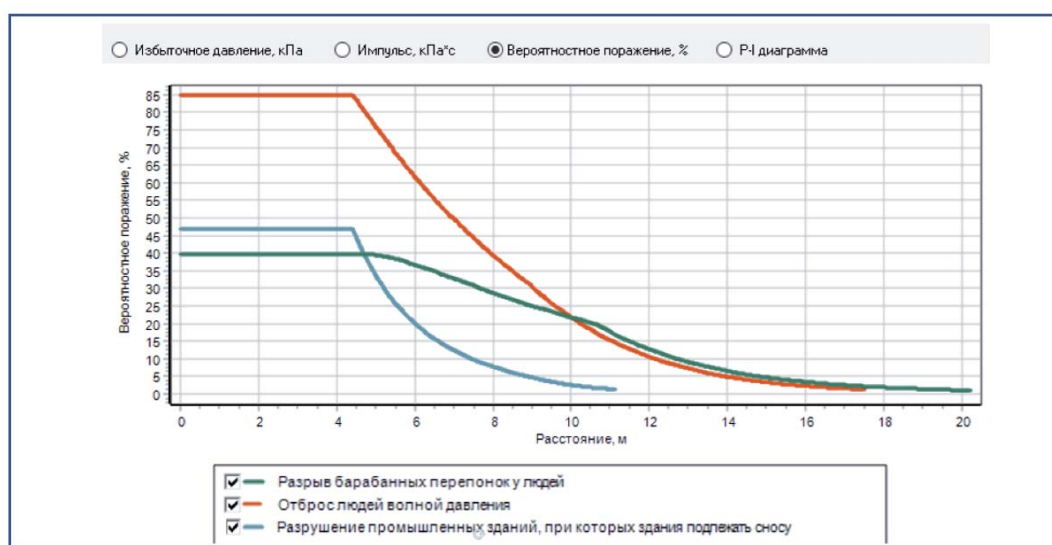


Рис. 5. Пример графика зависимостей вероятности поражения от расстояния (разработан в программном комплексе «TOXI+RISK»)

На третьем этапе методики выполняются следующие мероприятия:

1. Определение объема организационно-технических мероприятий (оптимальное их распределение) для достижения приемлемого уровня безопасности.
2. Разработка способов предупреждения возникновения возможных инцидентов на ОНКИ и уменьшения количества эксплуатирующего персонала, одновременно находящегося в зоне проведения работ.
3. Обеспечение готовности к локализации и ликвидации последствий аварий, в том числе взрывов на ОНКИ.
4. Увеличение требуемого уровня надежности системы противоаварийной защиты, средств активной и пассивной защиты от воздействия поражающих факторов взрыва.

Таким образом, проведение вышеперечисленных мероприятий позволяет руководителю работ минимизировать риск смертельного поражения эксплуатирующего персонала путём моделирования процесса работ на ОНКИ, построения сценариев аварийных ситуаций и выдачи управленческих решений.

Заключение

В работе дана характеристика безопасности ОНКИ, выявлены проблемы обеспечения безопасности эксплуатирующего персонала, подчеркнута необходимость применения риск-ориентированного подхода в обеспечении безопасности ОНКИ.

Предложенный подход на практике дает объективную возможность руководителям работ иметь информацию, позволяющую определять потенциальные риски и, оценив их влияние на безопасность ОНКИ, принимать обоснованные решения, направленные на минимизацию гибели эксплуатирующего персонала.

Литературы

1. Послание Президента Федеральному собранию 29 февраля 2024 года. URL://kremlin.ru/events/president/news/73585 (дата обращения 21.06.2025 г.).
2. ГОСТ Р 51897-2021 (ISO Guide 73:2009) Менеджмент риска. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2021. – 21 с.

3. **Колесников С. В.** Окисление несимметричного диметилгидразина и идентификация продуктов его превращения при проливах : моногр. – Новосибирск : Изд-во СибАК, 2014. – 110 с.
4. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора) от 28.11.2022 г. № 412. Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей» // Гарант.ру : [справочно-правовая система]. – URL: <https://www.garant.ru> (дата обращения: 24.03.2025).
5. **Баранов Л.Т.** Управление эксплуатацией космических средств: монография. – Министерство обороны Российской Федерации, 2004. – 413 с.
6. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора) от 03.11.2022 г. № 387. Руководство по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» // Гарант.ру: [справочно-правовая система]. – URL: <https://www.garant.ru> (дата обращения: 24.03.2025).
7. **Дьяков А. Н., Решетников Д. В., Кокарев А. С.** Методика выбора стратегии технического обслуживания и ремонта ракетно-космической техники // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – URL: www.science-education.ru/ru/article/view?id=21650 (дата обращения: 18.10.2024).